



## Guía docente

# 300038 - LCSF - Laboratorio de Comunicaciones Inalámbricas

Última modificación: 19/05/2025

**Unidad responsable:** Escuela de Ingeniería de Telecomunicación y Aeroespacial de Castelldefels

**Unidad que imparte:** 739 - TSC - Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones.

**Titulación:** GRADO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN (Plan 2009). (Asignatura obligatoria).

**Curso:** 2025

**Créditos ECTS:** 6.0

**Idiomas:** Catalán, Castellano

## PROFESORADO

**Profesorado responsable:** Definit a la infoweb de l'assignatura.

**Otros:** Definit a la infoweb de l'assignatura.

## CAPACIDADES PREVIAS

- Operatividad con números complejos, matrices, variables y procesos aleatorios.
- Análisis de señales y sistemas, analógicos y digitales, en el dominio temporal y frecuencial. Análisis de Fourier.
- Modulaciones de portadora única y multiportadora. Operativa con equivalente paso bajo y representaciones fasoriales.
- Teoría electromagnética básica: propagación en espacio libre, polarización, coeficiente de reflexión, efecto doppler ...
- Estrategias de codificación de canal.
- Conocimientos básicos de comunicaciones, antenas y emisores y receptores.
- Teoría básica de teletráfico. Fórmulas de Erlang-B y Erlang-C.

## REQUISITOS

COMUNICACIONES INALÁMBRICAS - Prerequisito

## COMPETENCIAS DE LA TITULACIÓN A LAS QUE CONTRIBUYE LA ASIGNATURA

### Específicas:

7. CE 22 SIS. Capacidad para aplicar las técnicas en que se basan las redes, servicios y aplicaciones de telecomunicación tanto en entornos fijos como móviles, personales, locales o a gran distancia, con diferentes anchos de banda, incluyendo telefonía, radiodifusión, televisión y datos, desde el punto de vista de los sistemas de transmisión.(CIN/352/2009, BOE 20.2.2009)

### Genéricas:

5. USO EFICIENTE DE EQUIPOS E INSTRUMENTACIÓN - Nivel 2: Utilizar correctamente el instrumental, equipos y software de los laboratorios de uso específico o especializados, conociendo sus prestaciones. Realizar un análisis crítico de los experimentos y resultados obtenidos. Interpretar correctamente manuales y catálogos. Trabajar de forma autónoma, individualmente o en grupo, en el laboratorio.



#### Transversales:

1. APRENDIZAJE AUTÓNOMO - Nivel 2: Llevar a cabo las tareas encomendadas a partir de las orientaciones básicas dadas por el profesorado, decidiendo el tiempo que se necesita emplear para cada tarea, incluyendo aportaciones personales y ampliando las fuentes de información indicadas.
2. COMUNICACIÓN EFICAZ ORAL Y ESCRITA - Nivel 2: Utilizar estrategias para preparar y llevar a cabo las presentaciones orales y redactar textos y documentos con un contenido coherente, una estructura y un estilo adecuados y un buen nivel ortográfico y gramatical.
3. TERCERA LENGUA: Conocer una tercera lengua, que será preferentemente inglés, con un nivel adecuado de forma oral y por escrito y en consonancia con las necesidades que tendrán las tituladas y los titulados en cada enseñanza.
4. TRABAJO EN EQUIPO - Nivel 1: Participar en el trabajo en equipo y colaborar, una vez identificados los objetivos y las responsabilidades colectivas e individuales, y decidir conjuntamente la estrategia que se debe seguir.
6. USO SOLVENTE DE LOS RECURSOS DE INFORMACIÓN - Nivel 2: Después de identificar las diferentes partes de un documento académico y de organizar las referencias bibliográficas, diseñar y ejecutar una buena estrategia de búsqueda avanzada con recursos de información especializados, seleccionando la información pertinente teniendo en cuenta criterios de relevancia y calidad.

#### METODOLOGÍAS DOCENTES

El curso combina las siguientes metodologías docentes:

- Aprendizaje autónomo: los estudiantes trabajarán los materiales de autoaprendizaje en casa y reservando el lab. fuera del horario de clase.
- Los estudiantes desarrollarán diferentes proyectos en equipo donde deberán organizar el trabajo autónomamente para conseguir ciertas metas con la guía del profesor.
- Clases magistrales: parte de las clases teóricas deberán concentrarse al inicio del cuatrimestre. Los proyectos no se iniciarán hasta que los estudiantes no dispongan de los contenidos teóricos necesarios.

#### OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA

LCSF pretende proporcionar al estudiante una visión completa de la problemática que presentan los sistemas de comunicaciones inalámbricas. No sólo a partir de un conocimiento detallado de las particularidades del medio radio sino también haciendo mucho énfasis en el diseño de los sistemas.

La asignatura se estructura en 4 grandes módulos: (a) Propagación, (b) Ingeniería radio celular, (c) Planificación de sistemas de telefonía móvil, (d) Sistemas de radiodifusión (televisión digital). Al acabar la asignatura, el estudiante debe ser capaz de:

1. Caracterizar el comportamiento estadístico de la señal radio (primer y segundo momento) y modelarlo para realizar cálculos de cobertura y predecir la probabilidad de error en el bit. Debe ser capaz de hacerlo teóricamente y experimentalmente a partir de campañas de medidas. Diferenciar las particularidades de diferentes entornos de operación: urbano, rural, interiores, vías de comunicaciones y túneles.

2. Explicar las ventajas de los despliegues celulares así como los principales procedimientos que los gobiernan. Medir experimentalmente parámetros que regulan estos procedimientos. Conocer las características de un equipo estación base en explotación.

3. Diseñar sistemas celulares para conseguir un cierto grado de servicio en términos de cobertura (probabilidad de SINR y throughput), probabilidad de bloqueo y consumo de datos mensual de los usuarios. Se deberán saber ejecutar todos los pasos de planificación de una red a nivel teórico y con herramientas informáticas de planificación y simulación. Se deberá conocer las principales características de los sistemas 4G y 5G.

4. Ser capaz de hacer diseños sencillos de sistemas digitales de broadcasting (televisión digital terrena, TDT o DVB) basados en OFDM. Ser capaz de medir con equipamiento comercial y comprender los efectos del canal radio sobre la señal OFDM así como las estrategias para compensarlos. Comprender las particularidades de la planificación en redes de frecuencia única, así como del proceso de ajuste de retardos internos de transmisión. Se deberá conocer la capa física de los sistemas DVB-T de 1a y 2a generación.

Además, gracias a la organización de la asignatura en proyectos:

- El estudiante adquirirá habilidades cooperativas y sociales para el buen funcionamiento del trabajo en grupo. Concretamente, trabajará en grupo para la realización de los proyectos contemplando todas sus fases: planificación del proyecto, búsqueda de información, elección de soluciones, implementación, reparto de tareas, integración de resultados, redacción de memorias técnicas y presentación, defensa y argumentación de las decisiones empleadas y resultados alcanzados.
- Aprenderá a planificar y liderar un proyecto y asumir responsabilidades dentro del grupo.
- Mejorar su capacidad de autoaprendizaje.
- Agilidad en la utilización de los equipos del laboratorio de comunicaciones inalámbricas para calibrar, realizar medidas, procesar y analizar los datos obtenidos.



## HORAS TOTALES DE DEDICACIÓN DEL ESTUDIANTADO

Tipos	Horas	Porcentaje
Horas aprendizaje autónomo	84,0	56.00
Horas grupo grande	26,5	17.67
Horas grupo pequeño	39,5	26.33

**Dedicación total:** 150 h

## CONTENIDOS

### - Presentación de la asignatura

#### Descripción:

Dar a conocer al estudiante:

- Los contenidos de la asignatura y la bibliografía recomendada por tema.
- Descripción de los proyectos y pautas sobre el modo de funcionamiento de los grupos.
- Establecimiento de los calendarios de los proyectos en cada grupo.

#### Objetivos específicos:

Ver descripción

#### Dedicación:

0h 30m

Clases teóricas: 0h 30m



### - Caracterización de la señal radio

#### Descripción:

Al final de esta sección el estudiante debe ser capaz de:

- Enumerar y calcular el efecto de las principales características en un medio radioeléctrico con pocos reflectores: propagación en espacio libre, reflexión contra el suelo, variaciones del índice de refracción, efecto de la difracción, atención por hidro-meteoros, gases y clutter. Debe ser capaz de encontrar modelos de propagación de n rayos, calcular las pérdidas por difracción a partir del resultado de las integrales de Fresnel, implicaciones de bloquear diferentes porcentajes de la 1a zona de Fresnel. Anticipar el efecto en la dirección del frente de onda bajo el efecto de atmósferas con diferentes gradientes refractivos.
- Caracterizar el comportamiento estadístico de la señal radio en condiciones multirayecto y con muchos reflectores:
- Cálculo del valor medio de atenuación basado en modelos estadísticos de propagación en diferentes ambientes: exterior (rural, urbano), interior y túneles. Debe ser capaz de explicar las diferencias entre los modelos de espacio libre, Tierra Plana, Egli, Okumura-Hata, Cost231-Hata y Cost231-Walfish-Ikegami.
- Caracterización de la desviación típica de la atenuación en presencia de áreas de sombra radioeléctrica (shadowing). Al final de esta lección, el estudiante debe ser capaz de realizar cálculos de cobertura con cualquier modelo de propagación y garantizar una cobertura perimetral con cualquier grado de servicio que se defina. Debe ser capaz de calcular los márgenes por desvanecimientos con estadística log-Normal, identificar el enlace limitante, analizar las diferencias entre balances en diferentes entornos (urbanos, rurales, vías de comunicación, consideraciones indoor e implementaciones en túneles) y para diferentes servicios. Calcular el número de nodos necesarios para proporcionar servicio en un área de destino
- Caracterización estadística de las desviaciones de la atenuación debidas a la propagación multirayecto:
- 1. Identificar condiciones de banda ancha y estrecha. Los estudiantes deben ser capaces de interpretar un perfil de retardo de potencia (PDP), seleccionar un modelo de taps apropiado en el entorno evaluado y calcular el delay spread. Debe ser capaz de predecir el tipo de respuesta al impulso en diferentes ambientes (rurales, urbanos, montañosos...).
- 2. Analizar eficientemente las consecuencias del efecto Doppler: a nivel temporal: Calcular el tiempo de coherencia del canal, predecir la presencia de desvanecimientos lentos o rápidos. Diferenciar entre los canales de tipo Rayleigh y Rice (vs. Gaussianos) y sus efectos en la señal (módulo y fase) y la probabilidad de error en el bit. Tendrá que ser capaz de encontrar la distancia mínima entre dos antenas para asegurar diversidad espacial y evaluar las variaciones en la ganancia por diversidad dependiendo del número de antenas, así como explicar los diferentes métodos de combinación de la señal. A nivel frecuencial: Calcular la desviación de frecuencia, y la densidad espectral de potencia de acuerdo con el modelo de Jakes.
- 3. Analizar eficientemente las consecuencias de la propagación multirayecto en entornos de alta dispersión de retardo y evaluar si el canal es selectivo o plano en frecuencia. Estimar el ancho de banda de coherencia.
- Enumerar los diferentes pasos que se deben seguir en una campaña de medidas para ajustar correctamente un modelo de propagación y proponer alternativas minimizando el error cuadrático medio entre la predicción y la medición. Comprender y aplicar el criterio de Lee para la eliminación de desvanecimientos a corto plazo. Ser capaz de enunciar y calcular los principales factores de mérito de un modelo de propagación a partir de las medidas: momentos de primer y segundo orden del error, factor de correlación de Pearson, etc. Obtener la desviación típica por shadowing a partir de las mediciones de campo.
- Describir las particularidades de las implementaciones con cable radiante y calcular la atenuación en estos escenarios. Interpretar correctamente las especificaciones de estos elementos para establecer comunicaciones en túneles y canales de comunicación ferroviaria.

#### Objetivos específicos:

Ver descripción

#### Actividades vinculadas:

- A.1. Proyecto 1. Introducción a las campañas de medidas y ajuste de modelos de propagación
- A.5. Evaluación del comportamiento del medio radio con Matlab.
- A.6. Examen teórico de medio cuatrimestre.

#### Dedicación: 44h

Grupo grande/Teoría: 5h 30m

Grupo pequeño/Laboratorio: 13h 30m

Aprendizaje autónomo: 25h



### - Ingeniería radio celular

**Descripción:**

- Los estudiantes deben ser capaces de justificar las ventajas de los despliegues celulares, así como las diferentes tipologías que existen.
- Deberá poder describir la arquitectura de un sistema celular de cualquier generación (2-5G) así como las funciones de los elementos que los componen, circuitos pre y post banda base, cambios de arquitectura con cloud RAN, etc.
- Tendrá que ser capaz de describir y calcular los parámetros que ajustan a los principales procedimientos que rigen los sistemas celulares y los modos básicos de operación asociados a los usuarios: (de)attach, handover y eventos de handover, con especial énfasis en los sistemas LTE, control de potencia en bucle abierto y cerrado, proceso de paging, la necesidad de áreas de localización / enrutamiento y listas de áreas de tracking, timing advance, tipo de scheduling, adaptación al enlace y utilización de estrategias multiantena para diversidad en transmisión y multiplexación espacial. El estudiante deberá ser capaz de explicar el grid frecuencia-tiempo de los sistemas OFDMA y los diferentes tipos de señal que se ubican
- Interactuar con una red real de telefonía móvil y medir diferentes KPIs, entender su impacto sobre los procedimientos de gestión de recursos radio. Medidas espectrales e identificación de redes comerciales y las diferentes tecnologías actualmente operativas en las bandas celulares sub 6 GHz.

**Objetivos específicos:**

Ver descripción

**Actividades vinculadas:**

- A.2. Proyecto 2. Procedimientos y gestión de los recursos radio en los sistemas de comunicaciones móviles
- A.6. Examen teórico de medio cuatrimestre.

**Dedicación:** 33h 30m

Grupo grande/Teoría: 6h

Grupo pequeño/Laboratorio: 7h 30m

Aprendizaje autónomo: 20h

### - Ingeniería, diseño y planificación de sistemas celulares

**Descripción:**

- Los estudiantes deben ser capaces de diseñar sistemas celulares para conseguir un cierto grado de servicio en términos de cobertura (probabilidad de SINR y throughput), probabilidad de bloqueo y consumo de datos mensual de los usuarios. Se deberán saber ejecutar todos los pasos de planificación de una red a nivel teórico y con herramientas informáticas de planificación y simulación. Se deberá conocer las principales características y especificidades de los sistemas 5G:
- âœ Cálculo de interferencias. Debe saber cómo calcular la CIR en los despliegues celulares teóricos y vías de comunicación bajo diferentes configuraciones de reducción y coordinación de interferencia: reuso frecuencial básico y distancias cocanales, reuso múltiple, fraccional, etc. Analizar el impacto de la configuración del sistema radiante en acimut y elevación... También tendrá que demostrar cómo proceder con los cálculos reales con herramientas comerciales.
- âœ Estudios de dimensionamiento para garantizar una cierta probabilidad de bloqueo y para garantizar un cierto volumen de datos mensuales.
- âœ Elección de equipos a partir de las especificaciones y para conseguir los criterios de calidad del diseño.

**Objetivos específicos:**

Ver descripción

**Actividades vinculadas:**

- A.3. Proyecto 3. Planificación de un sistema celular con una herramienta de cálculo de coberturas
- A.6. Examen teórico de final de cuatrimestre.

**Dedicación:** 52h

Grupo grande/Teoría: 8h

Grupo pequeño/Laboratorio: 12h

Aprendizaje autónomo: 32h



### - Introducción a la ingeniería de los sistemas de radiodifusión. Televisión Digital Terrestre

#### **Descripción:**

Los objetivos de este modulo son:

- Ser capaz de hacer diseños sencillos de sistemas digitales de broadcasting (televisión digital terrena, TDT o DVB) basados en OFDM.
- Ser capaz de explicar la capa física de los sistemas DVB-T de 1a y 2a generación.
- Ser capaz de medir con equipamiento comercial y comprender los efectos del canal radio sobre la señal OFDM así como las estrategias para compensarlos.
- Explicar las particularidades de la planificación en redes de frecuencia única, así como del proceso de ajuste de retardos internos de transmisión.

#### **Objetivos específicos:**

Ver descripción

#### **Actividades vinculadas:**

- A.4. Proyecto 4 optional. Análisis experimental de la señal DVB-T en el medio radio.
- A.6. Examen teórico de final de cuatrimestre.

#### **Dedicación:** 17h

Grupo grande/Teoría: 4h

Grupo pequeño/Laboratorio: 3h

Aprendizaje autónomo: 10h



## ACTIVIDADES

### A.1. PROYECTO 1. INTRODUCCIÓN A LAS CAMPAÑAS DE MEDIDAS Y AJUSTE DE MODELOS DE PROPAGACIÓN

#### Descripción:

Proyecto del módulo de propagación. El proyecto implicará el análisis de una campaña de medidas, la evaluación de los modelos de propagación existentes, aprender a crear nuevos modelos y la extracción de la desviación típica de la atención causada por el shadowing. Análisis de efectos multicamino. Medidas sobre cable radiante.

#### Objetivos específicos:

- El primer objetivo es que el alumno aprenda los pasos a seguir en una campaña de medidas para ajustar correctamente un modelo de propagación existente.
- Asimismo, deberá ser capaz de proponer alternativas mediante técnicas de regresión y minimizando el error cuadrático medio entre predicción y medida. Deberá procesar con solvencia las medidas capturadas y ser capaz de enunciar y calcular los principales factores de mérito de un modelo de propagación a partir de las medidas: momentos de primer y segundo orden del error, factor de correlación de Pearson, etc.
- Deberá saber aplicar el criterio de Lee y también caracterizar estadísticamente los desvanecimientos a largo plazo para utilizar las conclusiones en el diseño de sistemas.
- Otro objetivo es que el estudiante se familiarice con software habitual de medida en entornos de redes de área local inalámbrica.
- El estudiante debe poder analizar los efectos de primer orden de la propagación multicamino
- El estudiante deberá poder explicar las prestaciones de un cable radiante en términos de propagación y despliegue de sistemas radio versus la propagación con antenas clásicas, así como predecir su alcance en un sistema de comunicaciones completo.

#### Material:

- Software y hardware de medida.
- Software desarrollado en Matlab para importar las medidas y facilitar su procesado
- Especificaciones de los equipos emisores, antenas y cable radiante.
- Guión del proyecto y objetivos

#### Entregable:

- Redacción de una memoria basada en el índice de objetivos del proyecto e incluyendo los estudios previos

#### Dedicación:

18h 45m  
Grupo pequeño/Laboratorio: 7h 30m  
Aprendizaje autónomo: 11h 15m



## A.2. PROYECTO 2. PROCEDIMIENTOS Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS RADIO EN LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES

**Descripción:**

Proyecto asociado al módulo de ingeniería radio celular. Con la ayuda de Matlab, el estudiante analizará la capa física de LTE y creará su grid completo paso a paso. Se compararán diferentes configuraciones posibles y su impacto en el throughput del usuario, se analizará el impacto de la propagación en el grid y las consecuencias directas en los procedimientos de traspaso, scheduling, planificación PCI, etc. También se evaluará el impacto de la categoría terminal en la calidad del servicio. Se realizan traspasos verticales y se realizarán análisis espectrales y mediciones de calidad en redes reales con herramientas de monitorización, así como visualización de los parámetros necesarios para realizar (des)registro en la red y garantizar la movilidad en modo idle. También se analizará los problemas en la integración de terminales aéreos en la red.

**Objetivos específicos:**

Ver descripción del módulo 2

**Material:**

- Software Matlab.
- Software para net monitoring en Android i IOS.
- Formularios y plantillas para compartir resultados entre grupos.
- Equipos para realizar análisis espectral
- Campaña de medidas realizada en la EETAC con software específico.
- Guió del projecte

**Entregable:**

Igual que proyecto 1

**Dedicación:** 18h 45m

Grupo pequeño/Laboratorio: 7h 30m

Aprendizaje autónomo: 11h 15m

## A.3. PROYECTO 3. PLANIFICACIÓN DE UN SISTEMA CELULAR CON UNA HERRAMIENTA DE CÁLCULO DE COBERTURAS

**Descripción:**

Proyecto asociado al módulo de planificación. El estudiante tiene que hacer la planificación de un sistema haciendo uso de herramientas de simulación. El despliegue será sobre una zona de Cataluña y como mínimo se considerarán tres entornos: urbano, rural y vías de comunicaciones. Deberá ser capaz de ejecutar todas las etapas de diseño de un ingeniero de planificación radio.

**Objetivos específicos:**

Son directamente el primer punto del tercer módulo de contenidos

**Material:**

- Balance de potencias de referencia para calibrar el que tienen que preparar a los estudiantes.
- Manual de la herramienta de planificación y tutorial con los primeros pasos.
- Guión del proyecto y objetivos

**Entregable:**

Ver proyecto 1

**Dedicación:** 27h

Grupo pequeño/Laboratorio: 9h

Aprendizaje autónomo: 18h



#### A.4. PROYECTO 4. ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA SEÑAL DVB-T EN EL MEDIO RADIO.

**Descripción:**

Proyecto asociado con el Módulo 4. Opcional. Con instrumentación de laboratorio profesional (generadores y analizadores específicos). El estudiante llevará a cabo un estudio experimental avanzado de la señal OFDM en el sistema de televisión digital Terrena (TDT).

**Objetivos específicos:**

Son directamente los del cuarto módulo de contenidos.

**Material:**

- Especificaciones de equipos, antenas.
- Guión del proyecto y objetivos

**Entregable:**

Presentación oral con los resultados de los experimentos.

**Dedicación:** 12h

Grupo pequeño/Laboratorio: 4h

Aprendizaje autónomo: 8h

#### A.5. EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL MEDIO RADIO CON MATLAB

**Descripción:**

El alumno experimentará y evaluará las variaciones de comportamiento para diferentes parámetros de entrada realistas.

- Impacto de la separación de antenas en un entorno de tierra plana.
- Densidad espectral de potencia de la señal en un entorno con doppler.
- Representación fasorial y desvanecimientos selectivos en frecuencia en un entorno con doppler.

**Objetivos específicos:**

Afianzar los conocimientos teóricos del módulo de propagación.

**Material:**

Scripts ya programados en Matlab

**Dedicación:** 3h

Actividades dirigidas: 1h

Aprendizaje autónomo: 2h

#### EXAMEN DE MEDIO CUATRIMESTRE

**Descripción:**

Actividad de evaluación

**Dedicación:** 1h 30m

Grupo grande/Teoría: 1h 30m

#### EXAMEN FINAL

**Descripción:**

Actividad de evaluación

**Dedicación:** 1h 30m

Grupo grande/Teoría: 1h 30m



## SISTEMA DE CALIFICACIÓN

---

Se aplicarán los criterios de evaluación definidos en la infoweb de la asignatura.

## NORMAS PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS.

---

- La asistencia a las sesiones de laboratorio es obligatoria.
- Al finalizar el proyecto, el grupo deberá redactar una memoria basada en el índice de objetivos. Así mismo, deberá redactar un autoanálisis del grupo. Ambos documentos se entregarán dentro de los límites establecidos.
- Algunas tareas de los proyectos se harán cooperativamente entre diferentes grupos.

## BIBLIOGRAFÍA

---

### Básica:

- Goldsmith, A. Wireless communications. New York: Cambridge University Press, 2005. ISBN 9780521837163.
- Rappaport, Theodore S. Wireless communications : principles and practice. 2nd. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002. ISBN 0130422320.
- Molisch, Andreas F. Wireless communications. West Sussex, England: John Wiley & Sons, cop. 2005. ISBN 047084888X.

### Complementaria:

- Mishra, Ajay R. Advanced cellular network planning and optimisation : 2G/2.5G/3G ... evolution to 4G. Chichester: John Wiley, 2007. ISBN 97804700174714.
- Artés Rodríguez, Antonio; Pérez González, Fernando. Comunicaciones digitales. Madrid: Pearson Educación/Prentice Hall, cop. 2007. ISBN 9788483223482.